

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы докторанта PhD специальности 6D071700 – «Теплоэнергетика» Умышева Д.Р. на тему «Разработка и исследование камеры сгорания ГТУ с пониженным образованием токсичных веществ»

Актуальность. Согласно Концепции развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Республики Казахстан до 2030 года, основными проблемами топливно-энергетического комплекса являются:

- нехватка производственных мощностей для покрытия растущего спроса на энергию;

- низкий уровень энергоэффективности;

- низкая экологичность применяемых в ТЭК технологий.

Газовые турбины обладают сравнительно высокой эффективностью сжигания топлива, маневренностью, компактностью и являются наиболее экологически дружелюбными среди тепловых двигателей. Широкое внедрение газотурбинных установок (ГТУ) также повысит долю природного газа в топливно-энергетическом комплексе, а также сократит дефицит мощностей. Однако, учитывая все усиливающиеся требования к выбросам ГТУ, существует необходимость разработки новых камер сгорания (КС), имеющих низкие выбросы токсичных веществ и высокие технические характеристики. Для этого необходимо глубокое изучение процессов сжигания топлива в КС.

Вопросы сжигания топлива и направления его эффективного использования в энергетике глубоко волнуют научно-технические круги ученых и специалистов. Республика Казахстан имеет огромные потенциальные запасы природного газа и нефти. Однако использование огромного количества органического топлива связано со значительным засорением и отравлением воздушного бассейна оксидами серы и азота, большими выбросами золы и сажистых веществ [1]. Согласно [2] в Казахстане в окружающую среду выбрасывается ежегодно 191 тыс. тонн оксидов азота (в пересчете на NO_2), 393 тыс. тонн оксидов углерода, 36 тыс. тонн пятиоксида ванадия, 10 тыс. тонн сажи, 97,2 тонны сероуглерода, 98 тыс. тонн угольной золы с содержанием кальция.

Природный газ представляет собой наиболее чистое и органическое топливо, не содержащее золы и сернистых соединений. Широкое внедрение природного газа связано со значительным оздоровлением окружающей среды от золы, копоти и сернистых соединений, с повышением эффективности и культуры производства. Исходя из этого, необходимо сконцентрировать научно-исследовательские работы в Республике Казахстан в области теории и практики сжигания и использования газа, учитывая большой его удельный вес в топливно-энергетическом балансе нашей страны.

Поэтому современные научные тенденции сконцентрированы на нескольких пунктах:

- 1) снижение вредных выбросов КС;
- 2) увеличение мощности и к.п.д. ГТУ;
- 3) повышение надежности (увеличение срока эксплуатации) ГТУ.

Одной из проблем современных ГТУ является загрязнение окружающей среды выбросами так называемых «тепличных газов», к которым относятся CO_2 , SO_x , NO_x .

Оксиды азота образуются при сжигании всех видов топлива от угля до природного газа. Существуют три вида образований оксидов азота при сжигании топлива – быстрые, топливные и термические. Основная часть образующегося азота при сжигании газообразного топлива, это термический азот. Причина образования термического азота – высокая температура, продолжительное время пребывания газов в зоне высоких температур и качество перемешивания топлива с окислителем. Современные способы решения задач снижения образования оксидов азота строятся на снижении влияния этих факторов.

Одним из наиболее перспективных методов является исполнение КС таким образом, что факела будут рассредоточены по сечению рабочей зоны при помощи плохообтекаемых тел или за счет подачи топлива, где процессы горения будут происходить аналогично горению предварительно подготовленной топливно-воздушной смеси. Это развитое микрофакельное горение. Применение данных методов позволяет: снизить вредные выбросы токсичных веществ, сократить габариты и, соответственно, металлоемкость, а также обеспечить высокую полноту сгорания.

Исходя из вышесказанного, необходимо вести разработки и исследования в направлении совершенствования КС ГТУ, а также технологий, которые обладают хорошими показателями в области экологичности и высокими энергетическими показателями.

Целью работы является разработка и исследование элементов КС, горелочных устройств, которые позволят снизить токсичность газовых турбин, в частности, выброс оксидов азота, с возможностью модернизации существующего парка ГТУ и газотурбинных двигателей, обеспечивающих высокий уровень технических, а также экологических показателей при сжигании газообразного топлива.

В соответствии с поставленной целью и учитывая широкий спектр направлений для исследования, включающий физико-химические процессы горения, теплообмена и термодинамики, поставлены следующие задачи:

- разработать и исследовать различные конструкции газовых горелок, уголкового стабилизаторов для КС ГТУ на газовом топливе;
- провести численное моделирование процессов горения, массообмена, а также процессов образования вредных веществ, в частности оксидов азота, на микрофакельных устройствах;
- провести экспериментальные исследования уголкового стабилизаторов и микрофакельных насадок, изучить влияние различных форм и типов на процессы образования вредных веществ;

- исследовать влияние конструктивных и аэродинамических параметров на стабилизацию процесса горения за микрофакельными устройствами с обеспечением минимизации гидравлических потерь.

Основная идея и внутреннее единство работы. Основопологающей идеей диссертационной работы является разработка и исследование микрофакельных устройств с высокими показателями надежности и низкими уровнями выброса оксидов азота, стабильно работающих в широком диапазоне избытка воздуха.

Полученные данные о рециркуляционных зонах за уголковыми стабилизаторами, температур уходящих газов, механизмах стабилизации и образования оксидов азота могут быть использованы в качестве основы при разработке и внедрении новых видов КС.

Научная новизна. На основании численного моделирования и экспериментальных исследований разработаны принципы создания эффективных топливосжигающих устройств КС ГТУ, основанных на принципе микрофакельного горения. При этом:

1. Выявлен оптимальный угол уголковых стабилизаторов, обеспечивающий наименьшие показатели выбросов оксидов азота, <10 ppm, при высокой полноте сгорания топлива ($\eta_c=99\%$) и при относительно низких температурах уходящих газов ($T=520$ К).

2. Предложена формула, устанавливающая взаимосвязь между «бедным» срывом, формой и типом уголкового стабилизатора, а также выведена формула для определения выбросов оксидов азота из КС при использовании уголковых стабилизаторов;

3. Разработаны новые конструктивные схемы микрофакельных горелочных устройств, двухзонной КС, теплогенераторов на базе микрофакельных топливосжигающих устройств, обеспечивающие низкие выбросы токсичных веществ, высокую полноту сгорания и широкий диапазон стабильного горения.

Новизну работы также подтверждают инновационный патент и три полезные модели, а также положительное заключение о выдаче патента на полезную модель.

Достоверность работы. Полученные результаты обладают необходимой степенью достоверности, по следующим причинам:

- в исследованиях уголковых стабилизаторов и микрофакельных насадок применялось топливо, используемое в газовых турбинах;
- результаты экспериментов и численного моделирования согласовываются с результатами других авторов;
- при проведении экспериментов использовались высокоточные приборы.

Достоверность работы также подкрепляется комплексным подходом к проведению экспериментов, высокой степенью точности систем измерения.

Практическая ценность работы состоит в разработке и получении:

- принципа создания камер сгорания и газовых горелок, обеспечивающих высокие экологические и технические характеристики;
- газовых горелок, использующих принцип микрофакельного горения, защищенных авторскими свидетельствами;
- теплогенератора, работающего по принципу микрофакельного горения, в котором применены уголкового стабилизаторы, защищенного авторским свидетельством;
- двухзонной КС, с уголковыми стабилизаторами, защищенного авторским свидетельством.

Положения, выносимые на защиту

- результаты численного моделирования и экспериментальных исследований процессов горения, образования токсичных веществ при использовании уголкового стабилизаторов;
- формулы зависимости «бедного» срыва, а также эмиссии оксидов азота КС при использовании уголкового стабилизаторов, учитывая которые разработаны новые конструкции теплогенераторов;
- разработаны конструкции газовых горелок, работающих по принципу микрофакельного горения, которые имеют высокие экологические и технические показатели;
- разработана конструкция двухзонной КС, в которой использованы уголкового стабилизаторы, обеспечивающие высокие технологические и экологические параметры.

Личный вклад соискателя состоит в:

- в анализе и обобщении литературных данных;
- в проведении численного моделирования;
- в планировании, организации и проведении экспериментальных исследований, обработке и обобщении результатов;
- в разработке новых технических решений.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы были представлены и обсуждены на международных научно-практических конференциях и форумах:

- научный форум с международным участием «Неделя науки СПбПУ» (Россия, г. Санкт-Петербург, 2015);
- VII международная научно-практическая конференция «Fundamental and applied sciences today» (США, г. Северный Чарльзтон, 2015);
- I международная научно-практическая конференция «Технико-технологическое развитие отраслей и предприятий» (Россия, г. Нижний Новгород, 2017);
- VII международная научно-практическая конференция «Eurasiascience» (Россия, г. Москва, 2017);
- VIII Международная научно-практическая конференция «Advances in Science and Technology» (Россия, г. Москва, 2017).

Публикации. Основные положения работы представлены в 20 публикациях, в том числе в 6 изданиях, рекомендованных ККСОН МОН РК,

в журнале «Thermal Science», входящем в базу данных Thomson Reuters, в журналах «International Journal of Mechanics and Mechanotronics», «Espacios» входящих в базу данных Scopus, в зарубежном журнале «International Journal of Pharmacy and Technology», входившем в базу данных Scopus до 2017 г., в 5 международных научно-практических конференциях и форумах, 4 патентах, в 1 положительном заключении о выдаче патента на полезную модель.

Объем и структура. Диссертация содержит введение, 5 разделов, заключение, список использованной литературы, 2 приложения. Диссертация изложена на 139 страницах компьютерного набора, включая 89 рисунков и 5 таблиц, список литературы из 167 наименований.

Во введении раскрыта актуальность научной работы, конкретизирована исследуемая проблема. Приведены основная идея, научная новизна, достоверность работы, практическая ценность, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, а также апробация результатов и публикации.

В первом разделе диссертации представлен обзор и анализ состояния в области развития газовых турбин. Рассмотрены механизмы процессов горения и пути образования оксидов азота. Представлены уравнения, определяющие кинетику образования оксидов азота. Проанализированы основные виды токсичного азота – термический, быстрый, топливный. Приведены основные технологические виды подавления образования оксидов азота, к которым относятся впрыск воды или водяного пара, рециркуляция продуктов сгорания, оптимальное распределение воздуха, интенсификация смесеобразования, ступенчатое сжигание, а также каталитическое сжигание. Дан анализ конструктивных методов подавления, к которым относятся ступенчатые КС, КС с изменяемой геометрией, каталитические КС. Согласно поставленной цели сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе рассматриваются технические решения на базе микрофакельных устройств. Приведен анализ газовых горелок, разработанных в Киевском политехническом институте, использующие принципы микрофакельного горения, а также представлен анализ разработок отечественных авторов. Разработанные в Казахстане воздушные форсуностабилизаторы обладают высокими техническими и экологическими характеристиками. Исходя из проведенного анализа, схематично представлены разработки в области микрофакельных устройств. Определены наиболее оптимальные подходы к обеспечению микрофакельного горения. Поставлены дополнительные задачи в рамках исследуемой темы.

В третьем разделе приведены результаты численного моделирования процессов горения, смешения и образования токсичных веществ, в частности оксидов азота. Для исследования преимуществ микрофакельных горелок были использованы схемы и отдельные основные части газовых горелок, на которые соискателем были получены авторские свидетельства (инновационный Патент 92515 РК, полезная модель Патент 93801 РК).

Исследованы уголковые стабилизаторы различных форм, типов и углов на вершине, которые легли в основу технических решений, на которые соискателем получены авторские свидетельства (Патент 1703 РК и Патент 1734 РК). Проведение численного моделирования позволило провести более глубокий анализ результатов экспериментов.

В четвертом разделе представлены результаты экспериментальных исследований процессов горения за уголковыми стабилизаторами. Приведены результаты изучения влияния угла раскрытия уголковых стабилизаторов, способа подачи топлива, наличия перфораций, а также расположения перфораций на процессы образования токсичных веществ, стабилизацию пламени, «бедного» срыва. По результатам проведенных экспериментов выведена формула «бедного» срыва для КС, использующих уголковые стабилизаторы, а также, формула, определяющая эмиссию оксидов азота КС при использовании уголковых стабилизаторов.

В пятом разделе приведены разработанные технические решения, на которые соискателем получены авторские свидетельства, а также положительное заключение о выдаче патента. Проведено сравнение технических решений, полученных соискателем, с их прототипами. Приведена разработанная газовая горелка, которая обладает более совершенной конструкцией по сравнению с прототипом, обеспечивающая высокую полноту сгорания, низкую эмиссию оксидов азота и высокую стабилизацию пламени. Вторым техническим решением является газовая горелка, обладающая высокими стабилизационными характеристиками, за счет использования камеры подачи топлива. Разработана конструкция теплогенератора, которая по сравнению с прототипом, обладает такими преимуществами как высокая полнота сгорания, низкие выбросы токсичных веществ, малые габариты и металлоемкость. Представлена разработанная, двухзонная КС, которая, по сравнению с прототипом, обладает высокой полнотой сгорания топлива, широким диапазоном стабильного горения и низкими выбросами токсичных веществ за счет установки новых типов уголковых стабилизаторов. Разработан теплогенератор, обладающий высокими техническими характеристиками, позволяющий использовать его как в отоплении зданий, так и в сельском хозяйстве.

В заключении отражены основные результаты и выводы по диссертационной работе.